

文章编号: 0451-0712(2006)12-0100-04

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

# 复合式路面中夹层对旧水泥混凝土板荷载应力影响分析

祝海燕<sup>1,2</sup>, 王选仓<sup>1</sup>, 曹宝贵<sup>3</sup>

(1. 长安大学公路学院 西安市 710064; 2. 吉林交通职业技术学院 长春市 130012; 3. 吉林大学交通学院 长春市 130025)

**摘 要:** 为考察旧水泥混凝土路面加铺沥青混凝土层时,设置夹层对旧水泥混凝土板应力的影响,结合 G104 徐州机场路改造工程,利用 ANSYS 三维有限元计算工具,对比分析了单夹层及复合夹层结构中旧水泥混凝土板荷载应力变化规律。结果表明,两种夹层设置方式对水泥混凝土板荷载应力影响规律几乎相同。

**关键词:** 复合式路面; 有限元方法; 荷载应力; 夹层; 旧水泥混凝土路面

旧水泥混凝土路面加铺沥青混凝土面层时,沥青混凝土加铺层对降低旧水泥混凝土板荷载应力的效果很有限,加铺层下的旧水泥混凝土路面仍起关键的承载作用。因此,现行水泥混凝土路面设计规范以旧水泥混凝土板的应力和水泥混凝土弯拉强度作为加铺结构的设计指标<sup>[1]</sup>,但未考虑加铺时设置夹层对旧水泥混凝土板应力的影响。已有的文献<sup>[2~4]</sup>

就设置夹层对沥青混凝土加铺层应力的影响进行了深入的研究,但关于夹层对旧水泥混凝土板应力影响的分析鲜见报导。实际工程中为预防和减缓反射裂缝的发生,常常在旧水泥混凝土面层与沥青混凝土加铺层之间设置夹层,而且经过工程实践和试验研究<sup>[5~7]</sup>证明,设置夹层是减缓反射裂缝的有效技术措施,可以说夹层几乎成了旧水泥混凝土路面加

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(2005 3188 1213)  
收稿日期: 2006-06-23

## Analysis of Intensity Mechanism of Old CCP Slab Rubbled by Multiple-Head Breaker

WANG song-gen<sup>1</sup>, LI chang<sup>2</sup>, ZHANG yu-hong<sup>1</sup>, HUANG xiao-ming<sup>1</sup>

(1. Highway Bureau of Communications Department of Shandong Province, Jinan 250002, China;  
2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The multiple-head breaker is a new type of equipment which is introduced into China for several years and used increasingly on highway projects, its technics is more and more mature. But the intensity principle of rubblized slab is still not analyzed and unclear. The formation of rubbled slab is analyzed firstly, through distinguishing of profile, the layers are divided by particle size, their intensity principles are explained, and the theory of embedding and occluding is put forward. Last, the function of rubbled slab is ascertained, it shows that rubbled slab can be taken directly as base layer or under base layer, and meet the needs of new pavement.

**Key words:** MHB (Multiple-Head Breaker); CCP (Cement Concrete Pavement); rubble; intensity mechanism; theory of embedding and occluding

铺沥青混凝土层而固定设置的结构层。因此,为考察设置夹层对旧水泥混凝土板应力的影响规律,本文结合 G104 徐州机场路改造工程,利用 ANSYS 三维有限元计算工具,对比分析了考虑夹层影响的旧水泥混凝土板荷载应力。

1 工程概况

G104 徐州机场路段为长约 56 km 的水泥混凝土路面。1997 年~1998 年改造时,有些路段基层采用半刚性基层二灰碎石,面层采用水泥混凝土路面;有些路段直接在老沥青混凝土路面上加铺水泥混凝土路面;快慢车道高差较大。目前该路基层稳定,但是面层局部出现了各种形式的破坏,降低了路面的抗滑功能和行车的舒适性,急需对原路面进行加铺改造,以改善其使用性能、提高其承载能力。

通过现场细致的调查和测定,对旧路的结构状况和承载能力进行了比较准确的评价,旧路面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为优良。根据原路检测资料及试验结果并参照规范中推荐的数值,确定各结构层的材料参数,列于加铺路面结构示意图 1 中。在计算中,基础是指由原水泥混凝土路面的基层、下基层(或垫层)及土基组成的多层体系,基础模量为水泥混凝土路面板下各结构层模量的当量回弹模量值。

加铺层上面层	$h=40\text{ mm}$	$E=1\ 500\text{ MPa}$	$\mu=0.25$
加铺层下面层	$h=60\text{ mm}$	$E=1\ 200\text{ MPa}$	$\mu=0.25$
旧水泥混凝土板	$h=230\text{ mm}$	$E=2\ 900\text{ MPa}$	$\mu=0.15$
基础	$E=100\text{ MPa}$ $\mu=0.35$		

(1) 单夹层结构

加铺层上面层	$h=40\text{ mm}$	$E=1\ 500\text{ MPa}$	$\mu=0.25$
加铺层下面层	$h=60\text{ mm}$	$E=1\ 200\text{ MPa}$	$\mu=0.25$
旧水泥混凝土板	$h=230\text{ mm}$	$E=2\ 900\text{ MPa}$	$\mu=0.15$
基础	$E=100\text{ MPa}$ $\mu=0.35$		

(2) 复合夹层结构

注: 和 分别表示中间夹层及底部夹层。

图 1 路面加铺结构示意图

2 有限元计算模型及参数

2.1 路面结构模型

旧水泥混凝土路面加铺沥青混凝土结构的有限元分析模型仅考虑层间完全粘结的情况,视路面结构为弹性层状体系;研究对象是由沥青混凝土加铺层、防裂夹层、带有裂缝或接缝的水泥混凝土路面和基础组成的空间三维模型;模型的侧面受垂直于该平面的位移约束,土基底部为完全约束,使得整个结构趋于稳定。原路水泥混凝土板尺寸并非均匀,但根据文献[8]的分析,板长与板宽尺寸在常用范围内变化对计算结果影响很小,因此分析时板的尺寸固定取为长 4 m、宽 3.75 m、厚 23 cm。沥青混凝土加铺层、水泥混凝土路面和基础等结构层采用 8 节点实体单元;防裂夹层采用三维薄膜单元;为反映弹性半空间体基础的特性,基础采用扩大尺寸来模拟,经过对基础不同尺寸计算误差进行分析,基础尺寸拟定为 10 m×10 m×6.5 m。路面结构模型见图 2。

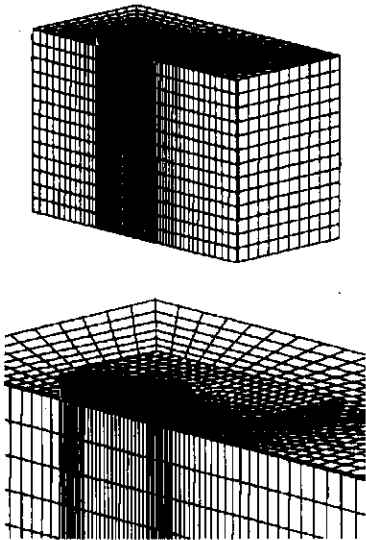


图 2 路面结构模型

2.2 荷载计算参数

车辆荷载采用标准轴载 BZZ-100,轮胎接地压强  $P$  为 0.7 MPa;有限元分析时将荷载简化为 18.9 cm×18.9 cm 的方形均布荷载,接触面积为 357.21 cm<sup>2</sup>,双轮间距为 32 cm,两侧轮隙间距为 182 cm。参照公路水泥混凝土路面设计规范,计算旧水泥混凝土板底应力时最不利荷载位置为板的纵向边缘中部。

3 计算分析

3.1 单夹层结构

夹层一般设置在旧水泥混凝土面层与沥青混凝土

土加铺层之间,根据夹层材料的不同,其模量值变化幅度较大。首先分析单夹层结构中旧水泥混凝土板

内力随夹层模量变化的情况,计算结果见表 1。

表 1 旧水泥混凝土板内力随单夹层模量的变化

中间夹层模量	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{yz}$	$\sigma_{xz}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_e$	$\tau_{\max}$
2	0.056 0	1.370 8	−0.019 3	−0.024 1	0.008 5	−0.022 3	1.371 3	0.061 6	−0.025 4	1.355 3	0.698 4
10	0.051 2	1.495 3	−0.027 6	−0.013 5	0.013 8	−0.021 9	1.495 6	0.056 7	−0.033 4	1.486 0	0.764 5
100	0.046 7	1.530 1	−0.032 4	−0.015 3	0.017 2	−0.018 0	1.530 5	0.050 4	−0.036 4	1.525 3	0.783 5
200	0.044 6	1.515 1	−0.032 9	−0.015 5	0.017 2	−0.016 7	1.515 5	0.047 7	−0.036 5	1.511 7	0.776 0
500	0.041 5	1.489 9	−0.033 1	−0.015 5	0.016 7	−0.015 2	1.490 2	0.044 2	−0.036 1	1.487 8	0.763 2
1 000	0.039 5	1.472 3	−0.032 9	−0.015 5	0.016 2	−0.014 2	1.472 7	0.042 0	−0.035 8	1.471 1	0.754 2
1 500	0.038 5	1.463 6	−0.032 9	−0.015 4	0.015 0	−0.013 8	1.464 0	0.040 8	−0.035 5	1.462 8	0.749 8
2 000	0.037 9	1.458 0	−0.032 8	−0.015 4	0.015 8	−0.013 5	1.458 3	0.040 1	−0.035 4	1.457 5	0.746 9
3 000	0.037 0	1.450 5	−0.032 8	−0.015 3	0.015 6	−0.013 1	1.450 8	0.039 2	−0.035 2	1.450 3	0.743 1
4 000	0.036 4	1.445 1	−0.032 7	−0.015 3	0.015 4	−0.012 8	1.445 4	0.038 5	−0.035 1	1.445 1	0.740 3
5 000	0.036 0	1.440 7	−0.032 7	−0.015 2	0.015 3	−0.012 7	1.441 0	0.038 0	−0.035 0	1.440 9	0.738 0
	0.042 8	1.505 3	−0.033 5	−0.015 8	0.017 0	−0.015 4	1.505 6	0.045 5	−0.036 7	1.502 9	0.771 2

注:夹层模量及各应力值单位为MPa;夹层模量为空白的行表示未设置夹层结构;最大剪切应力 $\tau_{\max}=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ ,等效应力 $\sigma_e=[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]^{1/2}/\sqrt{2}$ 。

由表 1 计算结果得出:夹层的存在对旧水泥混凝土板内力有一定的影响。当夹层模量由 2 MPa 增大到100 MPa 时,水泥混凝土板最大主应力、最大剪应力、等效应力及 y 轴方向应力值逐渐增大,增大程度均在 12%左右;当夹层模量为 100 MPa 时水泥混凝土板的 $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$ 和 $\sigma_y$ 达到最大,与不设夹层结构相比,增大约 2%;当夹层模量由 200 MPa 增大到 5 000 MPa时, $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$ 和 $\sigma_y$ 逐渐减小,减小幅度均在 5%左右;夹层模量为 5 000 MPa 时水泥混凝土板的 $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$ 和 $\sigma_y$ 比不设夹层结构相应的应力值减小 4%左右。夹层模量的变化对水泥混凝土板的 $\sigma_x$ 、 $\sigma_z$ 、 $\sigma_{xy}$ 、 $\sigma_{yz}$ 、 $\sigma_{xz}$ 、 $\sigma_2$ 和 $\sigma_3$ 影响较小;与不设夹层结构相

应的应力值相比,变化幅度也较小。

3.2 复合夹层结构

复合式夹层的底夹层一般采用应力吸收层,中间夹层为能对加铺层起到加筋作用的格栅类材料。应力吸收层具有弹性恢复性能好、粘附性强的特点,采用的厚度一般为1.5~3.0 cm,其模量值较沥青混凝土低。在分析这类复合夹层结构对旧水泥混凝土板内力的影响时,将底夹层模量固定取为 800 MPa,厚度以 2 cm 计算;中间夹层因所采用材料的不同,其模量值是从 500 MPa 变化到 5 000 MPa。计算结果见表 2。

表 2 旧水泥混凝土板内力随复合夹层模量的变化

中间夹层模量	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{yz}$	$\sigma_{xz}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_e$	$\tau_{\max}$
500	0.040 1	1.477 2	−0.033 0	−0.015 5	0.016 4	−0.014 5	1.477 6	0.042 6	−0.035 9	1.475 7	0.756 7
1 000	0.040 1	1.476 8	−0.033 0	−0.015 5	0.016 4	−0.014 5	1.477 1	0.042 1	−0.035 9	1.475 3	0.756 5
1 500	0.040 1	1.476 4	−0.033 0	−0.015 5	0.016 4	−0.014 6	1.476 7	0.042 7	−0.035 9	1.474 9	0.756 3
2 000	0.040 1	1.475 9	−0.033 0	−0.015 5	0.016 4	−0.014 6	1.476 3	0.042 7	−0.035 9	1.474 4	0.756 1
3 000	0.040 2	1.475 0	−0.032 9	−0.015 4	0.016 4	−0.015 0	1.475 4	0.042 7	−0.035 9	1.473 5	0.755 6
4 000	0.040 2	1.474 1	−0.032 9	−0.015 4	0.016 4	−0.014 6	1.474 5	0.042 8	−0.035 9	1.472 6	0.755 2
5 000	0.040 2	1.473 2	−0.033 0	−0.015 4	0.016 4	−0.014 6	1.473 5	0.042 8	−0.035 8	1.471 6	0.754 7
单夹层	0.040 1	1.477 6	−0.033 0	−0.015 5	0.016 4	−0.014 5	1.478 0	0.042 6	−0.035 9	1.476 2	0.757 0
无夹层	0.042 8	1.505 3	−0.033 5	−0.015 8	0.017 0	−0.015 4	1.505 6	0.045 5	−0.036 7	1.502 9	0.771 2

注:夹层模量及各应力值单位为MPa;计算单夹层结构水泥混凝土板应力值时夹层模量取为 800 MPa。

表 2 数据表明:随着中间夹层模量的增加,复合夹层结构水泥混凝土板的最大主应力、最大剪应力、等效应力及  $y$  轴方向应力值呈减小趋势,但减小的幅度很小;水泥混凝土板其他应力值几乎不随中间夹层模量变化。这主要是因为中间夹层远离水泥混凝土板,对水泥混凝土板应力产生作用的主要是底部夹层。所以,复合夹层结构对水泥混凝土板应力的影响规律与单夹层结构几乎相同。

#### 4 结语

本文以 G104 徐州机场路改造工程为实例,利用 ANSYS 三维有限元计算工具,对比分析了单夹层及复合夹层结构中旧水泥混凝土板荷载应力变化规律,从中得出以下几点结论。

(1)单夹层结构中水泥混凝土板应力值随夹层模量的变化而变化,影响最大的是水泥混凝土板的  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$  和  $\sigma_y$ ,其值变化幅度最大为 12%,最小为 5%。

(2)复合夹层结构中由于中间夹层远离水泥混凝土板,其模量的变化对水泥混凝土板应力产生的影响很小,对水泥混凝土板应力产生作用的主要是底部夹层。所以,复合夹层结构对水泥混凝土板应力

的影响规律与单夹层结构几乎相同。

(3)不设夹层结构的水泥混凝土板应力值,介于设置模量为 200 MPa 和 500 MPa 单夹层结构的应力值之间。单夹层结构水泥混凝土板应力值与不设夹层结构相应应力值相差小于 5%,即夹层的存在对水泥混凝土板荷载应力值影响不显著。

#### 参考文献:

- [1] JTG D40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [2] 李淑明,许志鸿,蔡喜棉.土工织物对复合式路面结构内力影响分析[J].中国公路学报,2006,(1).
- [3] 胡长顺,等.土工织物在 PCC-AC 结构中应用的理论与实践[J].公路,2000,(9).
- [4] 符冠华,卢拥军.土工合成材料在改造旧水泥混凝土路面中的应用研究[J].土木工程学报,2002,(1).
- [5] 沙庆林,王旭东.水泥混凝土路面加铺沥青混凝土面层的技术研究[J].公路,2002,(11).
- [6] 顾强康,冷培义.水泥混凝土道面上沥青加铺层反射裂缝试验研究[J].中国公路学报,1999,(1).
- [7] 张晓冰,等.玻璃格栅加筋沥青混凝土路面试验及施工方法研究[J].中国公路学报,1997,(3).
- [8] 谈至明,姚祖康,田波.水泥混凝土路面的荷载应力分析[J].公路,2002,(8).

## Analysis of Impact of Interlayer in Composite Pavement on Loading Stress of Old Cement Concrete Slab

ZHU Hai-yan<sup>1,2</sup>, WANG Xuan-cang<sup>1</sup>, CAO Bao-gui<sup>3</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Jilin Vocational and Technical College of Traffic, Changchun 130012, China; 3. School of Transportation, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** In order to research the influence of interlayer on old cement concrete slab with asphalt pavement up-layer, taking restoration engineering of the G104 Airport Expressway in Xuzhou City for an example, with the help of 3D FEM ANYSY, the impact law of single interlayer and composite interlayer on stress of old cement concrete slab is analyzed by contrast. The results show that the set modes of two different interlayers have the almost same influence law on stress of old cement concrete slab.

**Key words:** composite pavement; finite element analysis; loading stress; interlayer; old cement concrete pavement